Hanzehogeschool Groningen
University of Applied Sciences

De rol van Waterstof binnen de Energietransitie

“waterstof als innovatiemotor”

Dr. Ir. Jan-jaap Aué

share your talent. move the world.

Hanzehogeschool Groningen
University of Applied Sciences

De rol van Waterstof binnen de Energietransitie

“waterstof als innovatiemotor”

Lectorale rede
Dr. Ir. Jan-jaap Aué, 21 februari 2018

This is a publication of the Hanze University of Applied Sciences Groningen.
Centre of Expertise Energy
Instituut voor Engineering

Research Group

Energytransition
Dr. Ir. Jan-jaap Aué
Zernikelaan 17
9747 AA Groningen
Netherlands
+31 (0)50 595 4680
j.aue@pl.hanze.nl

Colophon

Author and editor: Jan-jaap Aué
Design and lay-out: Canon Business Services

Inhoud


H
Gr
DISTRICT
LEVI'S

Voorwoord

“If we want things to stay as they are, things will have to change”

Giuseppe Tomasi di Lampedusa

Het lectoraat Energietransitie van EnTranCe, het Centre of Expertise Energy van de Hanzehogeschool Groningen, richt zich op de systeemverandering die nodig is om de Energietransitie vorm te geven. Een systeemverandering, want de energietransitie is meer dan het vervangen van centrales door windmolens en zonnepanelen. Het vraagt, naast technologische veranderingen, ook veranderingen binnen het sociaal-economische stelsel.

Onze maatschappij is verslaafd aan energie en aan het gegeven dat het altijd onbeperkt beschikbaar is. Willen wij onze standaard van leven kunnen handhaven, dan moeten we bereid zijn om zaken aan te passen. Na de tweede wereldoorlog heeft onze energievoorziening zich sterk gecentraliseerd ontwikkeld, met grote partijen en infrastructuur (macro) die daar de regie op hebben. De groeiende wens vanuit de samenleving om zelf keuzes te kunnen maken in het gebied dat mensen zelf kunnen beïnvloeden (micro) zorgt voor een sterke ‘bottom up’ beweging rondom verduurzaming. In onze visie zullen de belangrijkste doorbraken rond de transitie nodig zijn daar waar de macro- en micro ontwikkelingen elkaar raken: het meso niveau. Hier is het dat het transitieproces zich het sterkst zal manifesteren.

De onderzoekslijn ‘De rol van waterstof binnen de energietransitie’ binnen dit lectoraat richt zich dan ook op mogelijke productie en toepassingen van duurzame waterstof op dit mesoniveau. Het niveau van een dorp, een wijk , een blok huizen of een bedrijf. Ook hier kijken we naar de verandering van het gehele systeem: op technologieniveau, de integratie met het macrosysteem, de mens, economie en de juridische praktijk. Samenwerking met andere lectoraten is dan ook van groot belang.

Duurzaam geproduceerde waterstof kan een grote rol spelen in de energietransitie. Als energiedrager kan het ons helpen duurzame elektriciteit op te slaan. Als brandstof kan het ons helpen de binnensteden schoon te houden. Het kan ons ook helpen bij de hoge temperatuur-problematiek van de industrie.

Samen met studenten, onderzoekers, burgers, bedrijven en overheden zullen we met dit lectoraat een bijdrage leveren aan het versnellen van de innovatie die nodig is om de duurzame energietransitie te doen slagen.

Zo gezegd, zo gedaan!

Groningen, 21 februari 2018
Dr. Ir. Jan-jaap Aué
Directeur EnTranCe , Centre of Expertise Energy
Lector Energietransitie

Introductie

“Water will be the coal and the oil of the future”

Jules Vernes

In Europa is het vraagstuk van fluctuaties en overschotten in duurzaam geproduceerde energie een van de grootste hobbels op het pad naar een duurzaam energiesysteem. Wereldwijd wordt waterstof steeds vaker als een veelbelovende drager van energie gezien die een rol in de oplossing van deze fluctuaties en overschotten kan spelen. Daarnaast is het ook geschikt als brandstof. Noord Nederland is uitstekend gesitueerd om hier een rol (als waterstof-hub) in te spelen. Toekomstige investeringen in infrastructuur kunnen daarmee vermeden worden terwijl bestaande investeringen goed benut worden.

Duurzame energie is momenteel tegen steeds lager wordende prijzen te produceren maar tijdigheid en beschikbaarheid van deze energie blijft een groot vraagstuk. Naast opslag van duurzame energie in accu’s , leidt dat tot een aantal (grote) vraagstukken en kansen voor duurzaam geproduceerd waterstof, dat bij uitstek geschikt is voor:

- Opslag (korte termijn en seizoensopslag, kleinschalig en grootschalig) van deze duurzaam geproduceerde energie. Dit is van groot belang om tijdigheid en beschikbaarheid te garanderen.
- Het kunnen inzetten van duurzame energie als brandstof kan van grote betekenis zijn in het de-carboniseren van de transport en mobiliteits-sector. Er is een behoefte aan energiedragers met hoge energiedichtheid.
- Vergroening van de industrie. De procesindustrie gebruikt veel hoge temperatuur warmte die momenteel fossiel wordt geproduceerd. En veel regionale procesindustrie is bovendien gebaseerd op grondstoffen uit de fossiele sector.
- De warmtevraag in de gebouwde omgeving. Hoewel het een populair geloof is dat woningen snel zonder gas kunnen, is het voorzien van de vraag naar warmte in de bestaande woningvoorraad zonder alternatief voor aardgas op middellange termijn in onze visie niet te realiseren. Een nieuwbouwwijk is haalbaar, maar wat te denken van een oude binnenstad of het platteland?

- Benutting van investeringen. In Nederland hebben we een fijnmazige gasinfrastructuur die tot in vrijwel alle woningen loopt. Deze infrastructuur heeft een enorme (energie) capaciteit en is reeds aangelegd. Economisch en energetisch zou het interessant kunnen zijn om te kijken of deze geschikt te maken zijn voor waterstof.

In Noord Nederland is door de Noordelijke Innovation Board, samen met veel stakeholders waaronder het Centre of Expertise Energy van de Hanzehogeschool Groningen, een Groene Waterstof visie ontwikkeld voor de regio. Deze visie wordt gedragen door een groot aantal partijen uit het regionale bedrijfsleven. Maar de visie roept ook vragen op. Vragen die binnen de onderzoekslijn "de rol van waterstof binnen de energietransitie" van het lectoraat EnergieTransitie een plek kunnen krijgen om opgelost te worden. Waterstof als duurzame energiedrager kan een cruciale rol spelen in het systeemdenken binnen dit lectoraat. Niet een-op-een, maar in co-creatie. Samen vragen oplossen die voor individuele partijen weer kansen bieden is veel efficiënter en sneller dan het ieder voor zich principe. De doelstelling van dit lectoraat is dan ook in samenwerking op systeemniveau aan de energietransitie te werken.

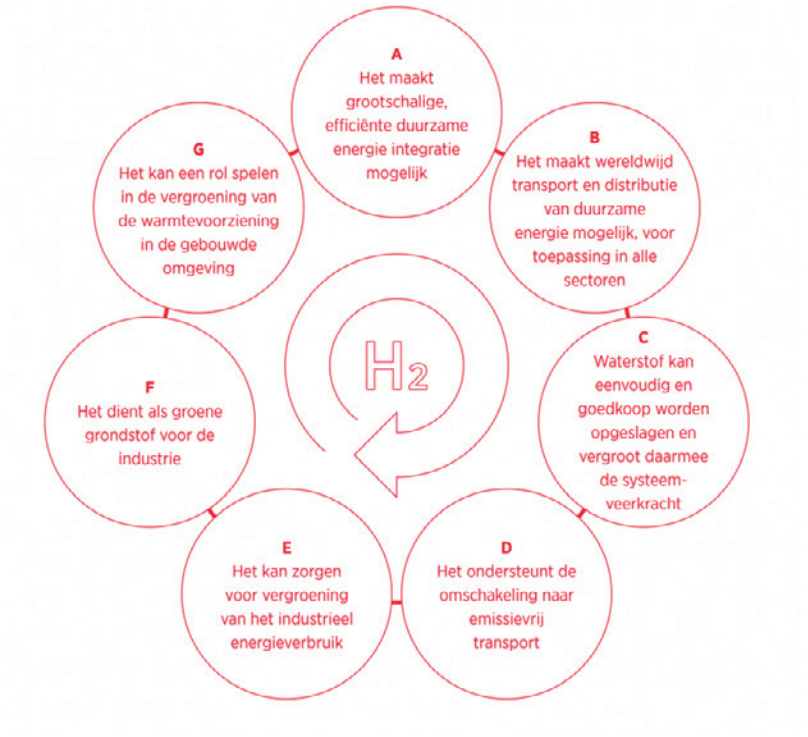


Fig 1: Redenen voor een duurzame waterstofeconomie, bron Noordelijke Innovation Board.

Het belangrijkste onderzoeksthema zal zijn focus hebben toepassingen van waterstof op meso-niveau. Onderzoek naar grootschalige waterstofontwikkelingen worden op veel plekken volop uitgevoerd. Maar vanuit het principe "People in Power" is er in onze visie een belangrijke rol weggelegd voor 'bottom up' bewegingen in de transitie. Gebruikers, prosumers en het MKB kunnen vanuit hun eigen behoefte energie in eigen hand te houden ontwikkelingen versnellen. Vanuit deze kleinschalige toepassingen zal gekeken worden hoe deze zich verhouden tot de grote landelijke infrastructuur. Systeemintegratie problematiek en de zoektocht naar het gezamenlijke belang in de keten zijn daarbij belangrijke vraagstukken. Het innovatieproces is in de ontwikkeling van deze nieuwe ketens van wezenlijk belang. Nieuwe ketens en bijbehorende nieuwe businesscases worden ook binnen deze onderzoekslijn op EnTranCe in een open omgeving samen met de omgeving opgezet.

De visie op waterstof is niet nieuw en zorgt al lange tijd voor inspiratie. Al in 1874 schreef Jules Vernes de volgende woorden:

"Ja, mijn vrienden, ik ben er van overtuigd dat water op een dag als brandstof zal worden gebruikt, en dat waterstof (...) een onuitputtelijke bron van warmte en licht zal vormen!"

Jules Verne,
The Mysterious Island (1874-5)

Fig 2: Jules Vernes, foto Felix Nadar 1878

"And what will they burn instead of coal?"
"Water", replied Harding.
"Water!" cried Pencroft, "Water as fuel for steamers and engines! Water to heat water!"
"Yes, but water decomposed into its primitive elements", replied Cyrus Harding, "and decomposed doubtless, by electricity, which will then have become a powerful and manageable force, for all great discoveries, by some inexplicable laws, appear to agree and become complete at the same time.

Yes, my friends, I believe that water will one day be employed as fuel, that hydrogen and oxygen which constitute it, used singly or together, will furnish an inexhaustible source of heat and light, of an intensity of which coal is not capable.

Some day the coal rooms of steamers and the tenders of locomotives will, instead of coal, be stored with these two condensed gases, which will burn in the furnaces with enormous calorific power. There is, therefore, nothing to fear.

As long as the earth is inhabited it will supply the wants of its inhabitants, and there will be no want of either light or heat as long as the productions of the vegetable, mineral or animal kingdoms do not fail us. I believe, then, that when the deposits of coal and oil are exhausted we shall heat and warm ourselves with water. Water will be the coal and the oil of the future."

Varkenscyclus en Hype-cycle

Waterstof is in de afgelopen decennia meerder malen naar voren gebracht als de grote doorbraak op gebied van duurzame energie. Zoals het bij veel technologie het geval is, is de belofte eerder gemaakt dan de realisatie een feit is. De belofte wordt vaak snel opgepakt door mensen die de potentie onderkennen, maar de traagheid van het systeem onderschatten. Het effect is dan vaak teleurstelling en des-investeringen. IT Consultant Gartner gebruikt hun Hype Cycle om technologie op maturiteit te beoordelen. In onderstaande duurzaamheid hypecycle zit in 2015 de micro brandstofcel in het dal van desillusie, met de verwachting dat deze in 5-10 jaar normale technologie zal zijn.

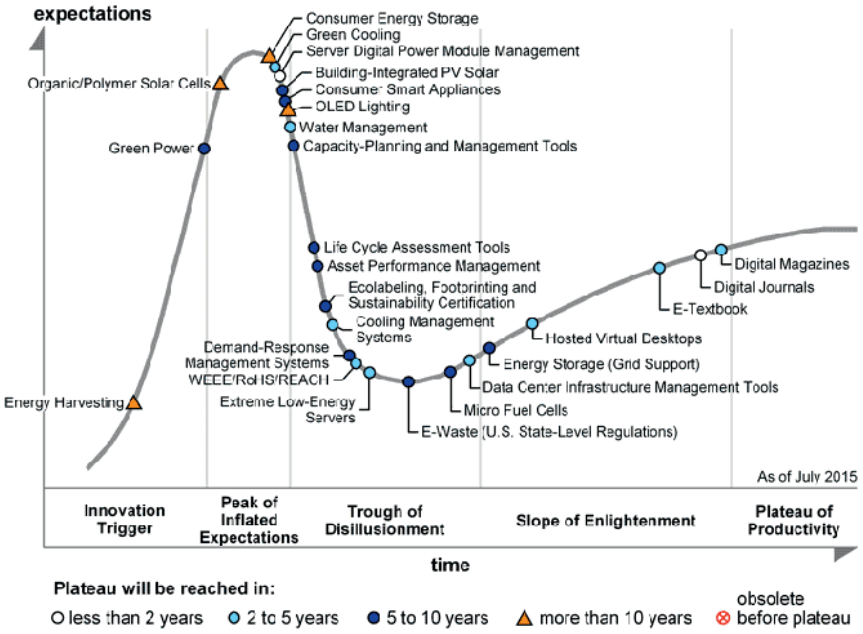


Fig 3: Gartner Hype cycle rond duurzaamheid , bron Gartner.com

Deel van de taak binnen dit lectoraat is te de-hypen. Feiten genereren en kennis mobiliseren zodat we helder houden wat de belofte daadwerkelijk is. Een te diepe duik in het dal van desillusie, kan de doorontwikkeling voor jaren tegenhouden.

In de jaren 1970 is het begrip 'waterstofeconomie' ontstaan, getriggerd door de oliecrisis en grenzeloos optimisme in technologieontwikkeling. Gekoppeld met de sterke wens naar geopolitieke onafhankelijkheid en de ontluikende Gaia hypothesis van James Lovelock (https://en.wikipedia.org/wiki/Gaia—hypothesis) waar het gedachtengoed van de circulaire economie (rond de aarde als organisme) is ontstaan, viel dat in vruchtbare aarde.
Maar de technologische ontwikkeling bleef achter. De kostprijs ontwikkelde zich niet zoals verwacht en duurzame bronnen bleken moeilijker te ontsluiten dan gehoopt. Het effect was teleurstelling en de waterstofeconomie kwam eind jaren 1970 weer op de plank.

In de jaren 1980-2000 maakte de technologie grote stappen vooruit. De econoom Jeremy Rifkin publiceerde zijn boek 'The Hydrogen Economy' en grote experimenten in de mobiliteits- en militaire industrie waren het gevolg. Maar kosten en betrouwbaarheid bleven een probleem. Effecten in een markt gestuurd onderzoeksveld, zoals Nederland zich de afgelopen 25 jaar heeft ontwikkeld, zijn dan soms ook onwenselijk. Vandaag de dag is waterstof een grote belofte met grote kennisbehoefte, terwijl kort geleden aan het begin van de kredietcrisis, het Nederlands onderzoek rond waterstoftechnologie op een zacht pitje werd gezet. De korte adem van beleidsmakers vs het optimisme van onderzoekers zet ons nu op achterstand.

Dat er in 2017 toch een sterke revival is opgetreden heeft een aantal redenen. Allereerst de ontwikkelingen bij elektrisch vervoer. Batterijtechnologie en motor aandrijflijnen hebben zich ontwikkeld tot volwassen technologie. De prijzen gaan snel naar beneden, terwijl de behoefte naar emissieloos vervoer enorm toeneemt in de wereldwijd groeiende steden. Het vervangen van een accu door een waterstof gedreven powerunit is vervolgens slechts een technologische ingreep.

Daarnaast is er steeds meer duurzame elektriciteit beschikbaar. En de prijzen daarvan dalen snel. De eerste windparken in Europa die zonder subsidie kunnen draaien komen op de markt, terwijl wereldwijd het aantal wind- en zonneparken dat tegen fossiele productieprijzen kan leveren toeneemt.

Ook de nucleaire ramp in Fukushima door de tsunami van 2011 speelt een rol. Japan heeft weinig natuurlijke energiebronnen en is voor een groot deel van haar elektriciteitsvoorziening afhankelijk van kernenergie. De tsunami van 2011 heeft een grote verandering in beleid gebracht, die de ontwikkeling van waterstof-technologie in Japan in een stroomversnelling heeft gebracht.

Achtergrond en Geschiedenis

De naam van waterstof is afgeleid uit het Grieks (hydro = “water” en-genen = “schepper”). Uit deze basis blijkt ook de basis die Waterstof in het periodiek systeem der elementen heeft. Het waterstof molecuul is het kleinste en lichtste molecuul dat we kennen.
Het is een chemisch element met symbool H en atoomnummer 1.
Met een atoomgewicht van 1,00794 u, is waterstof het lichtste en tevens meest voorkomende element in het universum. 75 procent van alle ons bekende materie in het universum is waterstof. Zo bijzonder is het dus ook weer niet! Door het lage gewicht kan het waterstof molecuul (H2) mmakkelijk ontsnappen aan de aardse zwaartekracht. Op aarde komt natuurlijk waterstof slechts weinig voor. Van onze atmosfeer is 0,00006% van het totale volume waterstof.

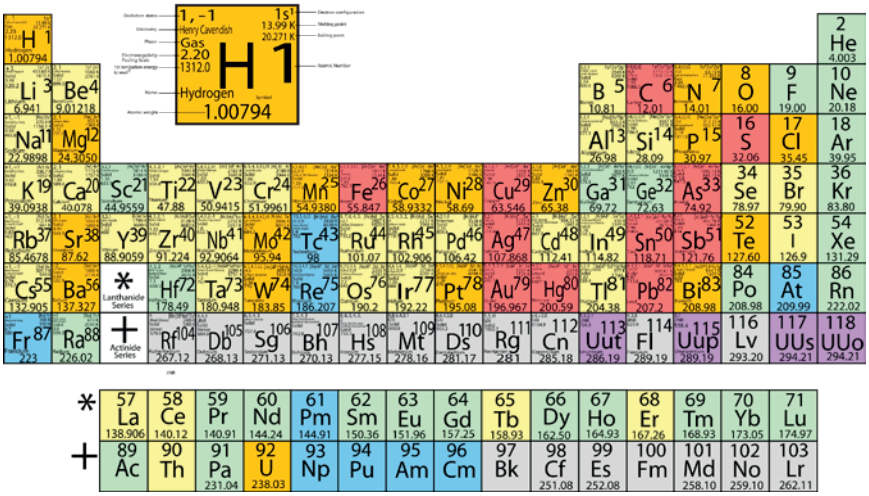


Fig 4: Periodiek systeem der elementen, bron: wikimedia commons, Asadwarraich

Waterstofgas kan een ontbrandbaar mengsel met lucht vormen. Het mengsel wordt ontstoken door een vonk of hitte. De temperatuur van spontane ontbranding in de lucht is circa 500 ° C. Zuivere waterstof-zuurstof vlammen geven ultraviolet licht af, bij een hoog zuurstof gehalte een bijna met het blote oog onzichtbaar licht. De waterstofvlam kan onder andere omstandigheden blauw zijn en lijkt op de blauwe aardgasvlam

In de afgelopen 200 jaar werd al veel gebruik gemaakt van waterstof, maar dan in de vorm van stadsgas of lichtgas. Een gas dat op veel plekken in West Europa (en dus ook in Groningen en omstreken) lokaal werd geproduceerd door steenkool te verhitten zonder zuurstof. Een proces vergelijkbaar met het maken van houtskool, maar met een hogere efficiëntie. Het werd vanaf de 19e eeuw gebruikt voor verlichting, verwarming, en om te koken. De precieze samenstelling verschilde per gasfabriek, maar de hoofdbestanddelen waren steeds waterstofgas, methaan en koolmonoxide.

In Groningen werd in 1854 een stadsgasfabriek geopend, op wat we nu kennen als het circus-,boden- en gasterrein (CIBOGA). Toentertijd aan de rand van de stad, met de toegang tot vaarwater voor aanvoer van steenkool waaruit het stadsgas werd geproduceerd. Door de overschakeling van steenkool naar aardgas verloor de fabriek zijn functie en werd vanaf 1970 voor het grootste deel gesloopt.

Fig 5: De gasfabriek in Groningen, bron Groninger archieven.

Fabricage van waterstof

Waterstof is op (veel) verschillende manieren te produceren. Hier volgt een kort overzicht van een aantal veelgebruikte technologieën om waterstof, al dan niet duurzaam, te produceren. Waterstof produceren kost energie. Het rendement van Elektrolyse en Steamreforming ligt in de orde van 70-80%.

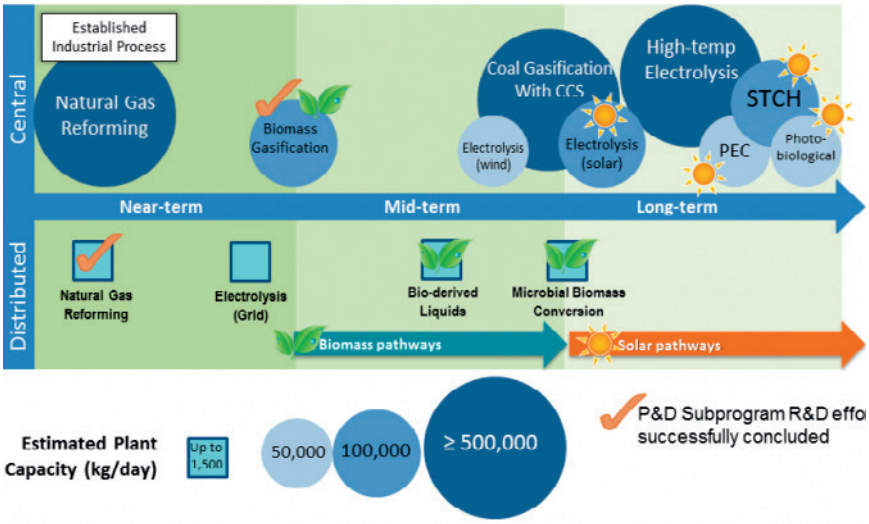


Fig 6: overzicht en roadmap van huidige en toekomstige productiemethodes, bron: U.S. Department of Energy

Elektrolyse van water

De meest bekende methode. Vrijwel iedereen heeft in de scheikunde les de bubbels van waterstof en zuurstof aan de anode en kathode kunnen zien. Elektrolyse van water is een eenvoudige methode van waterstofproductie. Zuurstof wordt gevormd aan de anode en waterstof aan de kathode:

- $2\ H_2O(l) + \text{energie} \rightarrow 2\ H_2(g) + O_2(g)$

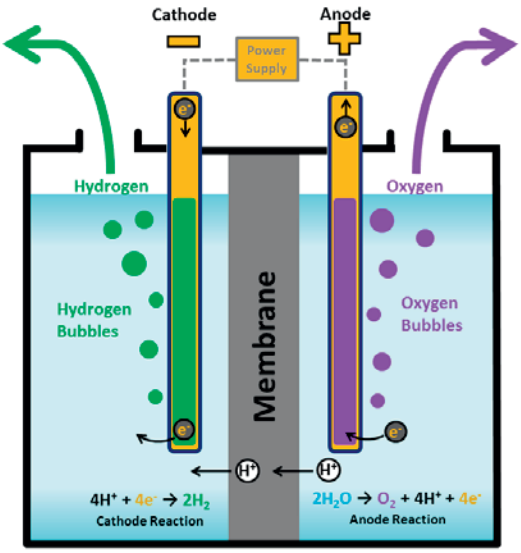


Fig 7: Elektrolyse, bron: U.S. Department of Energy

Steamreforming / Natural gas reforming

Momenteel is een economisch belangrijke wijze van waterstofproductie het onttrekken van waterstof uit koolwaterstoffen, gewoonlijk geproduceerd door steamreforming van aardgas. Bij hoge temperaturen (700-1100 ° C), reageert stoom met methaan tot koolmonoxide en H2:

- $CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3\ H_2$

Vergassing

Het proces dat vroeger veel in de gasfabrieken werd gebruikt. Zonder zuurstof worden de kolen op hoge temperatuur (900-1000° C) 'verbrand'. Verontreinigingen, maar ook gassen als CO2 en waterstof komen daarbij vrij. Het uiteindelijke product is 'cokes'.

- $C + O_2 \rightarrow CO_2$
- $CO_2 + C \rightarrow 2CO$
- $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$

De productie met behulp van gas of steenkool is natuurlijk niet duurzaam. Maar sinds jaar en dag is waterstof een belangrijke grondstof binnen de chemische industrie. Deze niet duurzame processen vinden dan ook nu al plaats op grote schaal. Na Duitsland is Nederland momenteel de 2e na grootste waterstofproducent van Europa. De huidige waterstof productie in Nederland is energetisch in de orde van grootte van de helft van alle energie die we gebruiken voor mobiliteit.

Het goede nieuws hiervan is dat er per definitie al een markt voor waterstof is, als de prijs voor duurzaam geproduceerde waterstof verder omlaag kan komen. Elektrolyse op basis van duurzame elektriciteit kan wel als duurzaam bestempeld worden.

Duurzame opties voor productie van waterstof zijn volop in ontwikkeling. Naast elektrolyse met duurzame elektriciteit wordt ook gedacht aan directe toepassing van vormen van zonne-energie. Dat kan enerzijds via een thermo-chemische route waarbij geconcentreerd zonlicht wordt gebruikt om uit water waterstof te genereren (bv http://energy.sandia.gov/high-efficiency-solar-thermochemical-reactor-for-hydrogen-production/), maar ook zonnecellen die rechtsreeks uit zonlicht en water waterstof kunnen maken zijn in ontwikkeling. Men spreekt dan van zonnebrandstoffen. (bv https://www.utwente.nl/nieuws/!/2018/1/99902/universiteit-twente-vergroot-efficientie-solar-fuels)

Ook biologische routes staan in de belangstelling. Vergisting is een oude techniek om uit biomassa onder andere methaan (biogas) te genereren. Specifieke bacteriestammen kunnen die biogas produceren. Maar de zoektocht naar bacteriestammen die juist waterstof afscheiden staat niet stil. Wat vroeger onwenselijke bijproductie was, wordt nu brandpunt van onderzoek. Ook in ons eigen RAAK-PRO Bio P2G project is dit onderwerp van belang.


ENERGY BARN

Toepassingen

Naast toepassing als basis chemische bouwsteen in de chemische procesindustrie, zijn er diverse toepassingsgebieden. Enkele van deze gebieden laat ik hier heel kort de revue passeren.

Procesindustrie

- Waterstof wordt in olieraffinaderijen grootschalig gebruikt voor de ontzwaveling van aardolie en bij het kraken van zware oliefracties in lichtere producten.
- Als grondstof voor kunstmestfabricage.
- Als grondstof in de kunststoffenindustrie.

Mobiliteit

Al in 1805 heeft de Zwitser François Isaac de Rivaz een interne verbrandingsmotor gebouwd, die werd gebruikt voor de aandrijving van een automobiel. Op deze vinding heeft hij een Frans patent gevestigd. Deze motor gebruikte knalgas. Dat is een mengsel van waterstof en zuurstof. De Rivaz sloeg het knalgas op in een ballon. De Rivaz vestigde er het eerste snelheidsrecord voor auto's mee in 1807; hij reedt 5 mijl per uur.

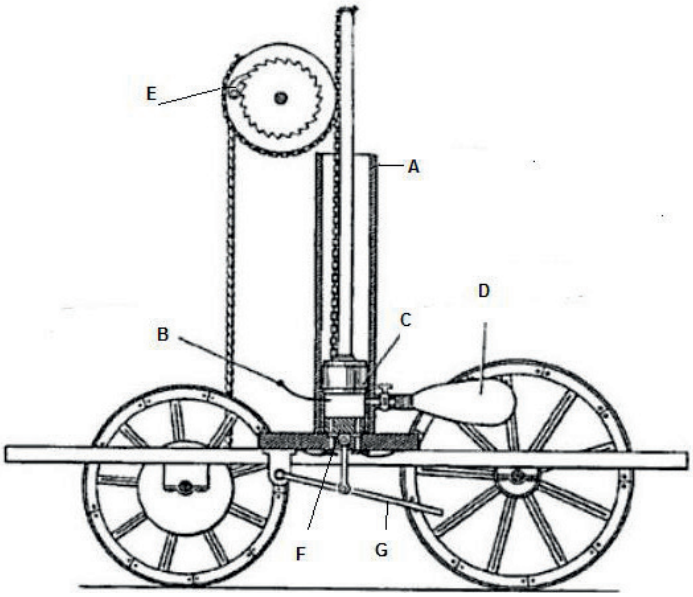


Fig 8: de eerste waterstofauto, bron: wikimedia commons

Anno 2018 zijn waterstof aangedreven voertuigen gewoon te koop. Meestal op basis van een brandstofcel. Weliswaar mondjesmaat en we bevinden ons nog steeds in een kip-ei situatie: als men niet kan tanken, heeft het geen zin een auto te kopen. Maar er zijn voertuigen op de markt die zijn toegelaten tot de openbare weg en kunnen tegen vergelijkbare kosten rijden als andere voertuigen: ze zijn uit het experimentele stadium.

Belangrijke aanjager zal het openbaar vervoer worden. Vanaf 2025 zullen alle nieuwe bussen emissievrij moeten zijn. Er tekent zich af dat full-electric met accu's de winnende technologie zal zijn voor stadsvervoer. Maar vervoer over langere afstanden en met hogere snelheden is daarmee moeilijk in te vullen. Waterstof zal daarbij een goede optie zijn. Met de komst van deze bussen zal ook de infrastructuur zich uitbreiden, immers de businesscase voor emissieloos busvervoer is opgelegd en onvermijdbaar.
In Groningen heeft QBuzz nu een tweetal bussen op proef in de dienstregeling rijden, waarbij een uitbreiding naar minimaal 20 bussen is voorzien in de komende jaren.

Fig 9: de Qbuzz waterstofbus

Productie van elektriciteit en warmte door middel van brandstofcellen.

De oerversie van de brandstofcel is halverwege de 19e eeuw uitgevonden door Sir William Robert Grove en min of meer gelijktijdig door de Zwitsers Schönbein. De vinding hing duidelijk in de lucht! Het principe van de brandstofcel is in feite het omgekeerde van elektrolyse.

Een brandstofcel bestaat in essentie uit twee elektrodes rondom een elektrolytisch medium. Deze cel kan worden gestapeld in een zogenaamde 'stack'. Hoe groter de stack, hoe groter het vermogen. Daarmee is het systeem dus modulair op te bouwen aan de hand van de benodigde specificaties. In het kort werkt een brandstofcel als volgt: bij de anode van de cel wordt waterstof gesplitst in protonen en elektronen. De elektronen worden afgevoerd via een elektrisch circuit en vormen daarmee de bron van elektriciteit. De protonen reageren met zuurstof waarbij water en warmte wordt geproduceerd.

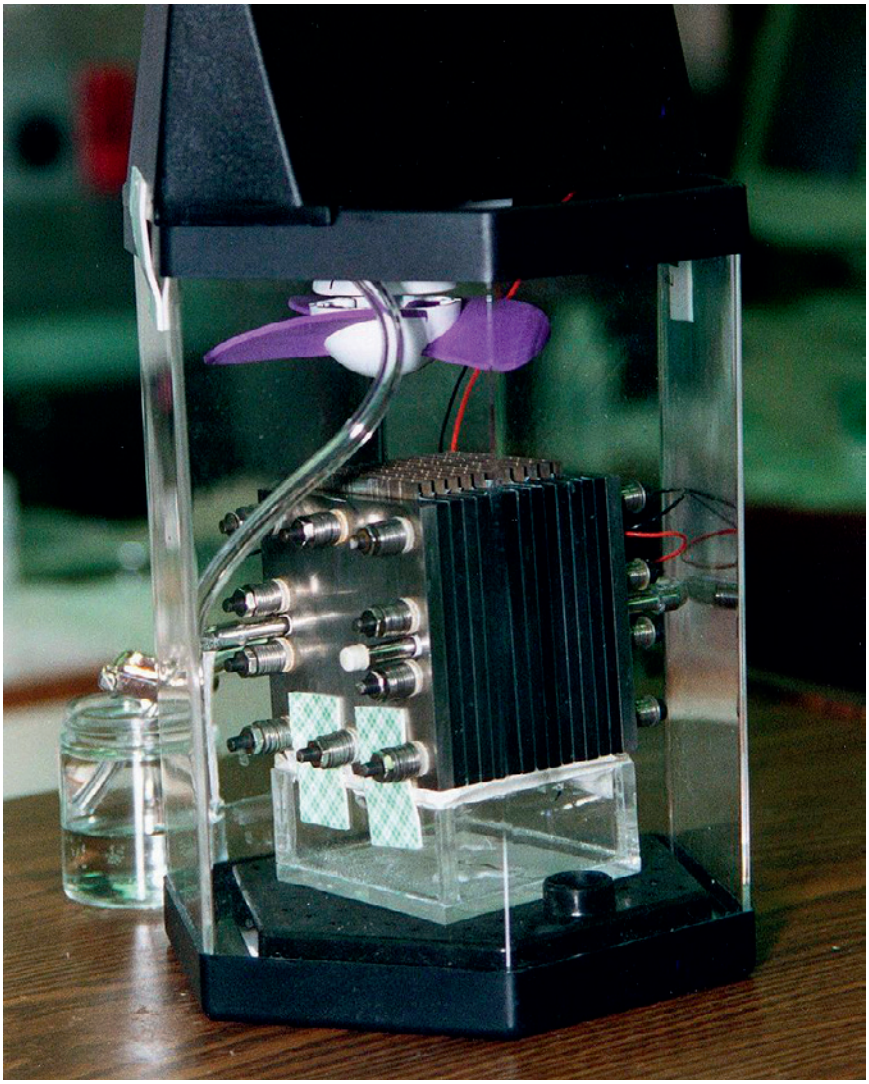


Fig 10: een kleine brandstofcel stack, bron: NASA

Na de tweede wereldoorlog werd de technologie verder doorontwikkeld, waarbij een belangrijke stap werd gemaakt in het Apollo ruimtevaartprogramma. Aan boord van een ruimtevaartuig wordt de brandstof van de aandrijving (waterstof en zuurstof) gebruikt om elektriciteit voor de capsule te genereren maar ook water voor de astronauten!

Door het ruimtevaart-programma werd de technologie betrouwbaar gemaakt. Door grote miljardenprogramma's aan het einde van de 20e eeuw in met name de VS en Japan, bestaat er momenteel een grote basis aan beschikbare technologie voor brandstofcellen.

Prijsreductie door opschaling van productie is voor deze technologie een belangrijke voorwaarde om door te breken.

Fig 11: brandstofcellen op EnTranCe in combinatie met een warmtebuffer

Waterstof als energiedrager

Een belangrijk toepassingsgebied is ook de opslag van (duurzaam) opgewekte elektriciteit of de inzet als duurzame brandstof. In het volgende hoofdstuk zal ik daar verder op ingaan.

Waterstof als duurzame energiedrager

Waterstof is geen bron van energie. Energie zit opgeslagen in fossiele brandstof als kolen, olie, gas en turf of in duurzame bronnen als zon, wind en getijden. Effecten van veel grotere processen als kernfusie in de zon en de zwaartekracht van het zonnestelsel om ons heen.
Waterstof kan gebruikt worden als een drager van energie, als een brandstof of transportmedium. Hoewel waterstof het meest voorkomende element in het heelal en op aarde is, komt het in zuivere vorm weinig voor op aarde. Willen we het kunnen gebruiken, dan moet het worden gegenereerd. Bij voorkeur op basis van schone, hernieuwbare energie.
Tegenwoordig maken we het onderscheid tussen verschillende vormen van waterstof.

Grijze waterstof is waterstof gemaakt van fossiele brandstoffen. Kolen en aardgas zijn daar de meest gebruikte bronnen voor. Dit is natuurlijk geen duurzame inzet van waterstof.

Blauwe waterstof wordt nog steeds gemaakt met behulp van fossiele brandstoffen, maar het broeikasgas CO_2 dat als restproduct ontstaat, wordt ondergronds opgeslagen (Carbon Capture Storage). Hoewel geen duurzame oplossing, kan dit in de transitiefase een hulpmiddel zijn. Aandacht daarbij moet wel zijn dat eenmaal opgeslagen CO_2 niet meer vrijgelaten kan worden. Zoutcavernes of lege gasvelden die hiervoor worden gebruikt worden dan ook onttrokken aan eventueel toekomstig opslagpotentieel.

Groene waterstof is waterstof die geproduceerd wordt met behulp van duurzaam opgewekte energie. Bijvoorbeeld elektriciteit van zon of wind die wordt omgezet in waterstof door middel van elektrolyse.

De waterstof zelf merkt helemaal niets van deze discussie. Of de wortels nu grijs, blauw of groen gekleurd zijn is het waterstof molecuul om het even. De fysische en chemische eigenschappen veranderen niet door de wijze van produceren. Misschien lijkt dat contra-intuïtief, maar dit kan ook als een voordeel gezien worden. Het feit dat er een begaanbaar pad bestaat dat kan uitmonden in een volledig duurzaam gebruik van waterstof, maakt ook de economische risico's kleiner. Een 'pathway' van grijs via blauw naar groen betekent dat de industrie nu kan instappen en een pad naar verduurzaming kan uitzetten, in plaats van een plotse overgang op een nieuw systeem.

Natuurlijk blijven de economische wetten geldig: elk bedrijf zal kijken naar de kostenstructuur en potentie voordat zij instapt. Maar het feit dat je ook een businesscase kan bouwen op het hier en nu maakt het pad wel makkelijker begaanbaar voor veel bedrijven.

Waterstof heeft per kg massa een grote energie-inhoud. De energie-inhoud bedraagt ca 140 MJ/kg waterstof ; voor aardgas is dat circa 42 MJ/kg. Daarentegen is de energie-inhoud per volume veel lager, waardoor waterstof vaak onder hoge druk moet worden opgeslagen om voldoende energie te kunnen transporteren. (ca 11 MJ/NM3 voor waterstof tegen 36MJ/NM3 voor aardgas bij atmosferische druk). In vergelijking met benzine: vloeibare waterstof heeft een energie-inhoud van ca 8,5MJ/L tegen 33 MJ/L voor benzine. De grote uitdaging is dus hoe veel waterstof mee te kunnen nemen tegen acceptabele kosten!

Na productie kan waterstof worden ingezet op verschillende manieren. Opslag kan wel eens de belangrijkste zijn die we nu kunnen voorspellen. Duurzame energie is op de wereld meer dan voldoende aanwezig. Met name zon en wind zouden makkelijk de wereld kunnen voorzien van relatief schone energie. Jammer genoeg is vraag en aanbod hier niet goed op elkaar afgestemd. Zon en wind zijn voornamelijk voorradig op plekken waar geen behoefte aan energie bestaat of op tijden dat het niet afgenomen wordt. Het kunnen opslaan en transporteren van deze duurzame energie is de heilige graal van verduurzaaming. Waterstof zou heel goed een belangrijke rol hierin kunnen spelen. Een voorbeeld is Japan die slechts beperkt eigen natuurlijke bronnen van energie heeft. Japan speelt met het idee om zonne-energie uit Australië, omgezet in waterstof, per tanker naar Japan te laten transporteren. Door duurzame energie op het juiste tijdstip op de juiste plek te kunnen aanbieden, kunnen we de energievoorziening verduurzamen. Waterstof als duurzame energiedrager kan hierin een belangrijke rol spelen.

In Nederland is vooral seizoensopslag (het beschikbaar hebben van voldoende energie om warmte te produceren in de koude tijd van het jaar) van groot belang. Duurzame energie is voornamelijk beschikbaar op momenten dat de vraag relatief laag is. Langcyclische opslag (seizoenen) van duurzame energie in de vorm van waterstof kan hier een oplossing voor zijn. Opslag zou kunnen plaatsvinden in zoutcavernes of lege gasvelden. In de USA is hier al langer ervaring mee, de Gasunie is in 2017 begonnen met een eerste project in Zuidwending. Effecten op langere termijn (lekkage uit cavernes, bevingsproblematiek) zullen nog duidelijk moeten worden door nauwgezette monitoring.

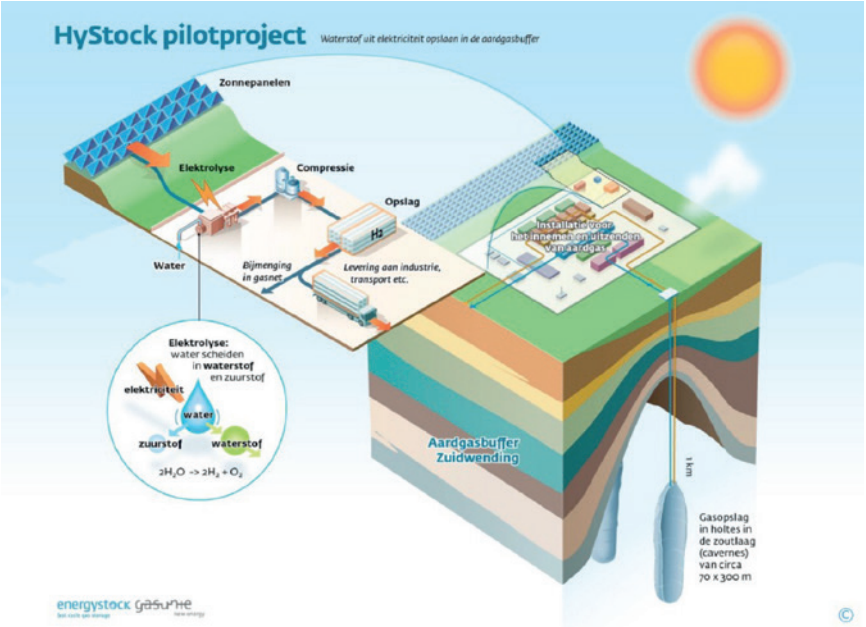


Fig 12: opslag en conversie op Zuidwending, bron: Gasunie, Energystock

Na productie, kan de energie uit de waterstofdrager na transport naar de gebruiker op verschillende manieren worden ontsloten. In het verleden werd vaak gedacht aan waterstof als brandstof. In de jaren '80 en '90 van de vorige eeuw voerden diverse autofabrikanten (bv Mercedes) experimenten uit met verbrandingsmotoren die op waterstof draaien. Hoewel dit, met nadelen als bijvoorbeeld waterstoflekkage, mogelijk is, lijkt dit een weinig verstandige inzet van waterstof. De analogie met de auto als een koets zonder paarden ligt voor de hand. Toepassen van iets nieuws in een bestaand concept helpt bij acceptatie, maar is vaak weinig efficiënt. Verbrandingsmotoren zoals we die kennen, hebben een energie-efficiency van circa 25-50%, afhankelijk van het type motor. Veel energie gaat in de vorm van warmte verloren. Omzetting in een brandstofcel is veel efficiënter (maar helaas momenteel nog veel duurder). Zonder herbenutting van warmte komt de efficiency tot ca 60%, met benutting van restwarmte (warmte-kracht koppeling) kan een efficiency van 85-90% bereikt worden.

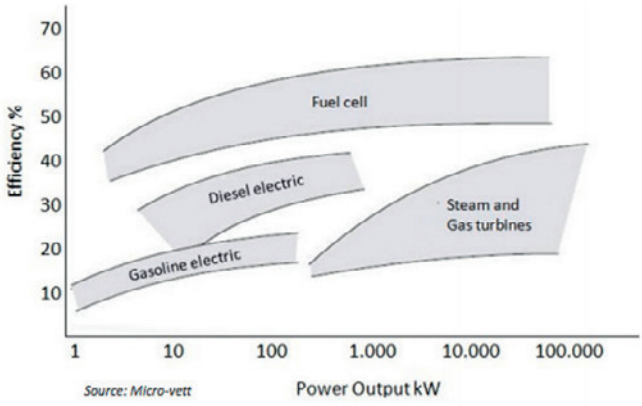


Fig 13: efficiency van verschillende aandrijf technologieën

Als groene waterstof in een brandstofcel system wordt ingezet, dan is de keten CO_2 neutraal (uitgezonderd de productie kosten voor ketenelementen). Water is dan het voornaamste afvalproduct. Zelfs als brandstofcellen worden gevoed met fossiel aardgas in plaats van waterstof, is de uitstoot van CO_2 per KWH substantieel lager dan van traditionele elektriciteits-productie.

Food for thought: Waterstof is ook een broeikasgas. Het effect is zelfs veel sterker dan van CO_2 of methaan. Dit stelt hoge eisen aan de gebruikte technologie: lekkage van waterstof moet zoveel mogelijk voorkomen worden. Een flinke opgaaf, het molecuul is het kleinste dat we kennen en vindt dus makkelijk zijn weg!

Regionaal perspectief

Noord Nederland voelt een grote urgentie om een voortrekkersrol te spelen in de Nederlandse energietransitie. De urgentie is hoog vanwege verschillende redenen.

Allereerst is er de bevingsproblematiek. De regio heeft te lijden onder de gevolgen van aardgaswinning en heeft er alle belang bij dat deze zo spoedig mogelijk terug wordt gedraaid. Verhoging van de productie van duurzame energie kan daarbij helpen.

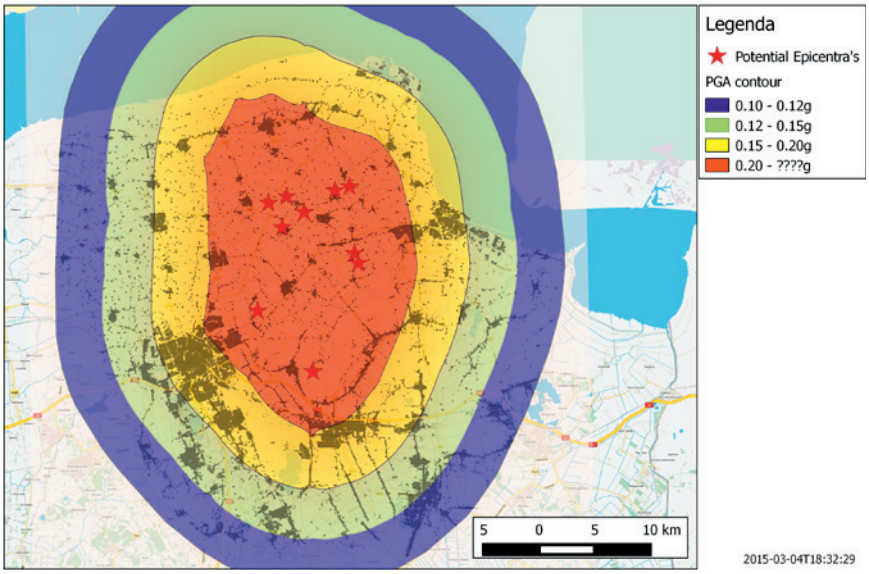


Fig 14: Indicatieven bevingscontouren, bron: geoneer.wordpress.com

Klimaatopwarming en zeewaterspiegel stijging worden als een reëel gevaar gevoeld omdat bijna de gehele regio op de zee is veroverd. Grote delen van onze regio bevinden zich amper boven de zeewaterspiegel. Het vertragen of zelfs stoppen van de klimaatopwarming is daarmee een voelbare urgentie.

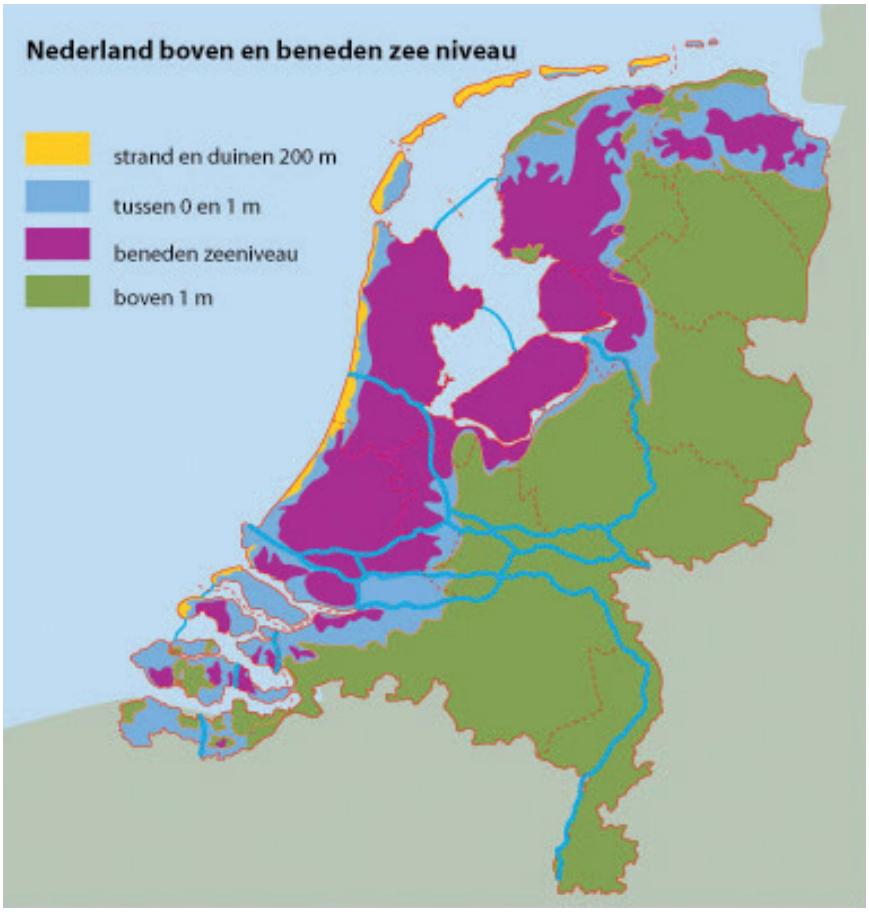


Fig 15: de dreiging van zeewaterspiegel stijging, bron: deltawerken.com

Daarnaast bestaat er een bedreiging voor de arbeidsmarkt. In het noorden van Nederland zijn ca 35000 banen verbonden met de gasindustrie. Hoogwaardige banen die kunnen verdwijnen op het moment dat de aardgasproductie sterk zal verminderen. De kennis en competenties die in deze industrie zit, kan uitstekend worden ingezet bij productie, conversie en transport van duurzame energie. Daarmee kan Noord-Nederland in potentie de rol van 'Groen Stopcontact' voor Nederland vormen (http://www.hetbestevoornederland.nl/). Een wenkend perspectief voor de regio!

De Noordelijke Innovatieboard heeft daarom, samen met veel stakeholders, een visie op waterstof in het Noorden ontwikkeld. Waarom is dit zo belangrijk dat er binnen het lectoraat Energietransitie een aparte onderzoekslijn voor wordt opgestart?

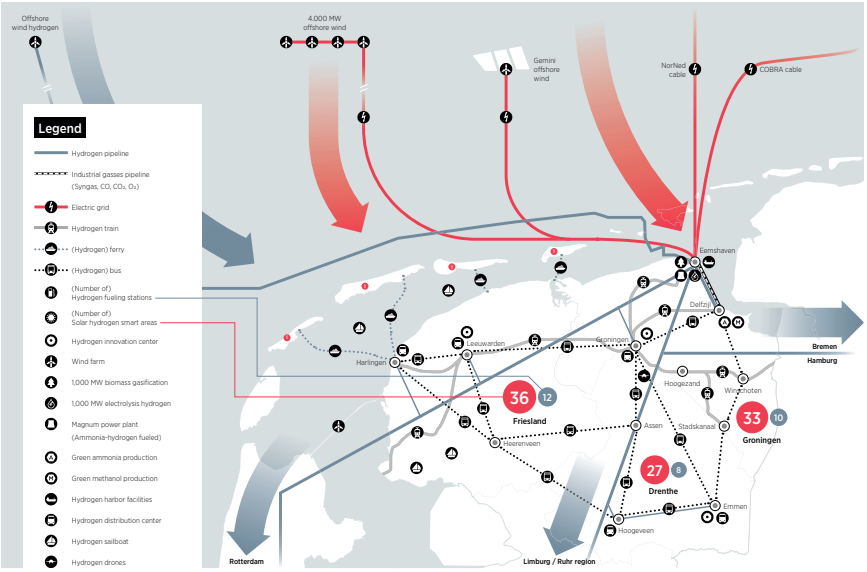


Fig 16: De Noordelijke kansenkaart. Bron: noordelijke Innovation Board.

Waarom heeft de groene waterstofeconomie in Noord-Nederland een kans van slagen?
Er zijn een aantal unieke eigenschappen van de regio die in dit perspectief bij elkaar komen.
Allereerst is er een bestaande waterstofmarkt. Zowel in Delfzijl als in Emmen is een chemiecluster dat vandaag de dag grote hoeveelheden waterstof gebruikt. Ook de chemiesector heeft een verduurzamingsagenda. Op het moment dat groene waterstof tegen een redelijke prijs beschikbaar kan komen, is er al een markt aanwezig.
Ten tweede is er grootschalige aanlanding van duurzame elektriciteit. Zowel van windparken (of windparken in ontwikkeling) als van hydro opgewekte elektriciteit vanuit Noorwegen. Daarmee is een groot aantal uren per jaar duurzame stroom beschikbaar.
Ten derde de aansluiting met de nationale aardgas infrastructuur. Daarmee is transport naar andere plekken in Nederland (of Europa) van duurzame waterstof op termijn te realiseren, zonder een nieuwe infrastructuur te hoeven aanleggen.

En als laatste punt: ruimte. Waar op veel plekken in Nederland ruimte een schaars (en duur) goed is geworden, is in het Eemshaven gebied nog hoogwaardige ruimte beschikbaar.
Vanuit perspectief van Groningen Seaport kan daar nog het volgende aan worden toegevoegd. Het haventerrein, het chemiecluster en de aanwezigheid van duurzame productie en grootschalige energieafname (denk aan bijvoorbeeld het Google datacentre) maakt waterstof een bijzonder relevante ontwikkeling voor Groningen Seaports. Het volgende komt uit een White Paper van Groningen Seaports:

“De Eemsdelta is een industrieel havengebied met sterke posities in de chemie en de energiesector. Deze combinatie biedt mogelijkheden om een grootschalig en divers waterstof cluster te ontwikkelen in Groningen.”

Verbindingen met de energiesector
Waterstof is de linking pin om ons energie systeem in balans te houden. Verwacht wordt dat, gezien het snel groeiende aanbod van wind- en zonenergie, dit al vanaf 2025 een rol van betekenis gaat spelen. In de aanloop hier naartoe zal groene waterstof de grijze waterstof in de chemie vervangen. De chemie en de energiesector worden zo met elkaar verbonden. Dit leidt tot een duurzaam waterstof cluster, onafhankelijk van fossiele brandstoffen en met een beperkte CO2 footprint.

Kansen voor hoogwaardige toepassing van waterstof
De Eemsdelta maakt van waterstof business een succes door economy of scale te combineren met het koppelen van vraag en aanbod via een passende infrastructuur. Hierdoor ontstaat een fysieke marktplaats voor waterstof. Zo worden allerlei toepassingen van waterstof mogelijk en is in een onderlinge back-up voorzien. De marktplaats is een hub, waardoor waterstof ook beschikbaar komt voor kleinschalige en innovatieve toepassingen rondom mobiliteit of industrie..”

Deze regionale ambitie vertaalt zich ook in vernieuwende projecten met haast on-Groningse proporties. Als voorbeeld hebben Gasunie en AkzoNobel bekend gemaakt in Delfzijl een elektrolysefabriek te willen bouwen van 20 MW. De beoogde elektrolyse-installatie zou met 20 MW een van de grootste van Europa worden. De installatie moet volcontinu gaan draaien op stroom van zonne- en windparken in Noord-Nederland, aangevuld met waarschijnlijk een elektriciteitscentrale op biomassa. De elektrolyse-installatie zou hiermee 3000 ton waterstof per jaar produceren, voldoende om – bijvoorbeeld – 300 bussen op waterstof te laten rijden.
(https://www.deingenieur.nl/artikel/grote-elektrolysefabriek-in-delfzijl)

Een ander groot project is aangekondigd door Gasunie en Tennet, die een samenwerking hebben gelanceerd (North Sea Wind Power Hub consortium) die in het volgend decennium moet uitmonden in een kunstmatig eiland op de Noordzee, waar offshore wind omgezet kan worden in waterstof. Deze waterstof kan dan worden getransporteerd door het bestaande gasnetwerk op de Noordzee dat tegen die tijd geen aardgas meer hoeft te vervoeren. Dit kan potentieel grote besparing opleveren met betrekking tot de benodigde transport infrastructuur.

Fig 17: Offshore Wind Hub, bron Gasunie, Tennet.


Energy Academy Europe

Innovatieproces en ketenvorming

Binnen het lectoraat Energietransitie is waterstof niet enkel een doel. Het is ook een middel! Want de energietransitie is een beweging waarin de reis wellicht meer kan brengen dan het bereiken van het doel alleen. Versnellen van de reis, van elkaar leren en samen ontdekken waar deze naar toe gaat is daarbij van groot belang.

Grote maatschappelijke bewegingen, zoals de energietransitie, hebben metaforen nodig. En waterstof kan een dergelijke metafoor zijn. De introductie van een nieuwe technologie is geen substitutie van het bestaande. Die fouten worden snel afgestraft. Hoewel elke auto nog steeds een 'dashboard' heeft, is een zelfrijdende Tesla bepaald geen koets zonder paarden meer. Maar het heeft meer dan 100 jaar geduurd om het idee van een koets zonder paarden radicaal te vertalen in een autonoom voertuig om van A naar B te komen. Een concept dat ook de economische principes van eigendom en de juridische principes van aansprakelijkheid op zijn kop zetten.

Ook de introductie van waterstof als een element in de energievoorziening zal zo'n effect hebben. Alleen nu kunnen we ons niet meer veroorloven om er meer dan 100 jaar over te doen om de concepten om te denken. Een manier om te versnellen, zoals we dat op EnTranCe, het Centre of Expertise Energy van de Hanzehogeschool Groningen, doen, is door interdisciplinaire samenwerking.

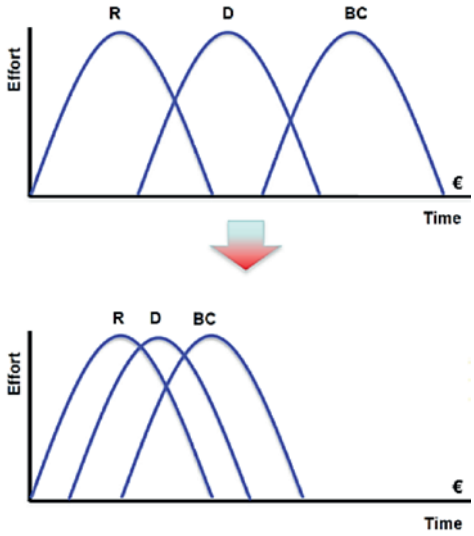


Fig 18: Versnelling van innovatie door interdisciplinaire ketensamenwerking

Traditioneel wordt innovatie sequentieel gedaan. De wijze van werken lijkt op de 'waterval' ontwikkelmethode: onderzoekers doen hun baanbrekend werk (**R**esearch), vervolgens worden de vindingen opgepakt door ontwikkelaars (**D**evelopement) die er een product van ontwikkelen en tot slot wordt er een businesscase en een markt ontwikkeld (**B**usiness Case). Een zeer gedegen aanpak, die veel doorlooptijd kost en het risico in zich heeft dat aan het einde van het traject blijkt dat klanten toch echt iets anders wensen, omdat de ontwikkeling van de maatschappij ondertussen is doorgegaan.

Door nu in interdisciplinaire teams te werken in kort cyclische ontwikkel en ontwerp trajecten kunnen de R,D,BC curves in elkaar worden geschoven. De doorlooptijd wordt verkort en in de overdracht van de ene cyclus naar de andere zitten weinig verassingen meer. Een vorm van 'Rapid Prototyping' ontwikkelmethode.

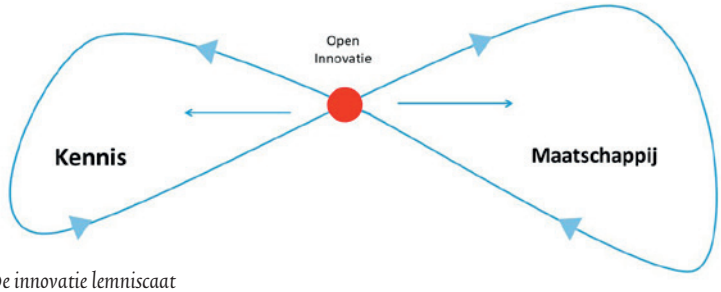


Fig 19: De innovatie lemniscaat

In onze visie moet kennisontwikkeling bovendien worden gevoed door de maatschappij en vice versa. Deze beweging is in principe zonder einde en vormt de zogenaamde innovatie lemniscaat. Een open innovatiecentrum zoals EnTranCe dat is, kan het knooppunt van deze lemniscaat vormen. Het vormt daarmee een ankerpunt waardoor de ontwikkelcyclus in gang kan worden gezet en gehouden.

Energie-waardeketens

Energie is bovendien een ketenvraagstuk. In de keten van productie tot levering van diensten zitten vaak een groot aantal ketenpartners die elk waarde toevoegen aan het halfproduct. Systeemveranderingen of technologieveranderingen schudden de bestaande waardeketens op. Ketenpartners kunnen verdwijnen, van positie veranderen of nieuwe ketenpartners treden toe. In een open innovatieomgeving is het mogelijk om gezamenlijk dit spel te verkennen. Welke posities zijn er op de nieuwe keten en wat betekent dit voor mijn bedrijf of voor de maatschappij? Hieronder volgt een voorbeeld rond waterstof vanuit een technologisch perspectief:

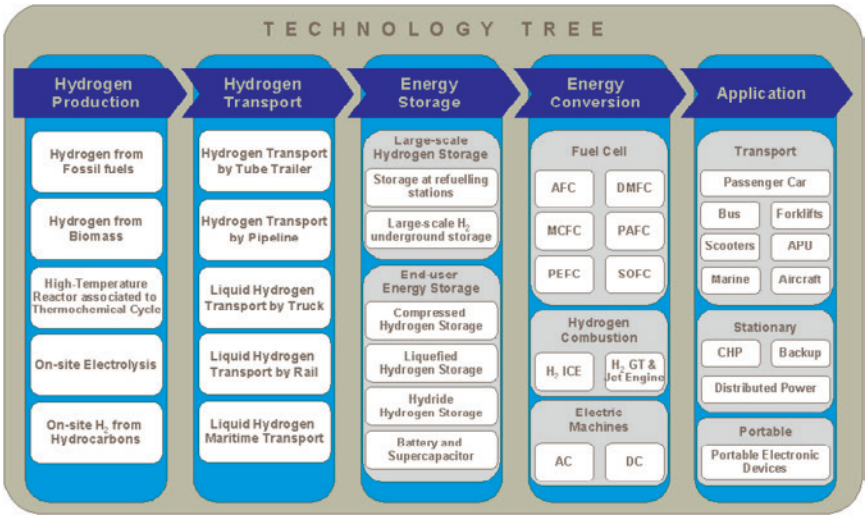


Fig 20: Hydrogen Technology Tree, bron IKA RWTH Aachen.

Naast productie, transport, opslag, conversie en toepassing bestaat er natuurlijk ook nog de markt (afnemers). En wellicht nog elementen die we nu nog niet kennen, bijvoorbeeld rond nieuwe flexibiliteitsdiensten. Door samen met belanghebbenden uit wetenschap, bedrijfsleven en maatschappij deze keten vorm te geven zien we ook de keten zichzelf vormen en kunnen er nieuwe ketenelementen ontstaan. Door in een co-creatie omgeving de keten te vormen, doorbreken we het kip-en-ei probleem. Door iteratief gezamenlijk te ontwikkelen (zoals bij Rapid Prototyping), worden de implicaties sneller duidelijk. De interfaces tussen de elementen bepalen uiteindelijk de waardeketen. De levensvatbaarheid van de keten wordt verder nog sterk gevormd door draagvlak en wetgeving.
Het bijzondere is om te zien dat rollen daadwerkelijk kunnen veranderen. Als voorbeeld kunnen partijen uit de procesindustrie, die nu primair waterstof als basischemie gebruikt, door een andere rol in de keten van afnemer veranderen in producent. En weer terug! Het leveren van flexibiliteitsdiensten binnen de keten zal naar verwachting een veel grotere rol gaan spelen dan vandaag de dag.

Actief de keten verkennen kunnen we doen door samen met studenten, bedrijven, overheden en samenleving de keten te ontwikkelen op EnTranCe schaal. Voor alle deelnemers spelen dezelfde vraagstukken en gaandeweg komen vraagstukken, blokkades, kansen en bedreigingen in beeld. In pre-competitief verband kunnen we daar met elkaar van leren. Door de collectieve intelligentie te mobiliseren wordt de snelheid van ontwikkeling enorm versneld.


ENERGY BARN

Samenwerkingspartners: Het HYDROGREENN netwerk

HYDROGREENN is ontstaan uit een initiatief van Entrance, het Centre of Expertise Energy en STORK naar aanleiding van het rapport De Groene Waterstof-economie in Noord-Nederland van de Noordelijke Innovation Board. HYDROGREENN sluit aan bij de oproep in het rapport om een 'sterke, standvastige groene waterstof ambassadeur' in het leven te roepen. Bedrijven en instellingen hebben besloten met elkaar het ambassadeurschap van waterstof als innovatiemotor vorm te geven.

Op 12 september 2017 is een kickoff georganiseerd met onder anderen de volgende partijen: Stork , EnTranCe het Centre of Expertise Energy, AkzoNobel, Holthausen, Gasunie, ChemPort, New Energy Coalition, Nuon, Gasterra, , TNO, Provincie Groningen, SBE, Resato, Siemens en het Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

Deze groep heeft afgesproken om als waterstof ambassadeurs aan de slag te gaan om concrete projecten van de grond te krijgen op het gebied van waterstoftoepassingen in of vanuit Noord-Nederland. De waterstoftoepassingen worden ingezet om een bijdrage te leveren aan de innovatie en vergroening van de energiehuishouding, gebouwde omgeving, mobiliteit, industrie en chemie.

HYDROGREENN wordt georganiseerd vanuit de vier O's: ondernemers, onderwijs, overheidsinstanties en onderzoeksinstellingen met als doel de vijfde O, namelijk ONS, burgers, te betrekken bij nieuwe ontwikkelingen op het gebied van vergroening en energie met gebruik van innovatieve toepassingen van waterstof.

HYDROGREENN doet dit met inzet van aangesloten bedrijven en instellingen op actuele business cases, door studie te maken naar de haalbaarheid en door het wegnemen van barrières in toekomstplannen.
Concrete acties die in 2018 gaan lopen zijn:

- In kaart brengen en verbinden van (mogelijke) waterstof initiatieven in Noord-Nederland en uitvoeren van supply chain analyses;
- Bevorderen van netwerkvorming tussen bedrijven en instellingen in Noord-Nederland: organiseren van netwerkbijeenkomsten en supply chain meetings;
- Met onderwijsinstellingen voorbereidingen treffen op werk in de waterstofeconomie en -industrie;
- Organiseren van excursies en bezoeken buiten de regio: nationaal en internationaal bouwen van (inter-)nationale netwerken;
- Deelnemen aan nationale overleggen over waterstof, hernieuwbare energie en gas (zoals TKI gas, NVWA) ter bevordering van business development, financiële incentives en regulering;
- Publieksvoorlichting en promotie van pilots en mobiliteitsprojecten, bevorderen van studies naar aspecten van veiligheid en publieke acceptatie en opinie;
- Faciliteren van het ontwikkelen van test-/proeflocaties om kennis bij bedrijven up-to-date te houden;

Daarnaast wordt er binnen een open innovatie omgeving gewerkt in de vorm van een zogenaamde HYDROGREENN CASE. Een gevarieerde groep mensen uit verschillende disciplines werken voor een bepaalde tijd (circa 8 weken) een dag(deel) aan een specifieke maar concrete case. Er staat daarbij één vraag centraal: de vraag wordt vooraf zorgvuldig gedefinieerd, de organisaties stellen medewerkers beschikbaar en de resultaten van de case wordt terug gerapporteerd aan het hele netwerk.

Als resultaat verhoogt dit het kennis- en competentie niveau onder de deelnemers en kunnen we de startfase van nieuwe projecten versnellen.

Projectvoorbeelden EnTranCe, Centre of Expertise Energy

De afgelopen jaren is er al een portfolio van waterstof gerelateerde projecten ontwikkeld binnen EnTranCe, het Centre of Expertise Energy. Hierop volgt een niet uitputtende, korte bloemlezing.

I-Balance

Het centrale onderzoeksonderwerp daarin is "integratie van duurzame energiebronnen in het bestaande energienet". In dit onderzoek is gekeken naar decentrale smart grid oplossingen.

In het I-Balance onderzoek wordt daarbij gebalanceerd op 3 verschillende assen:

1. Consumptie en productie van energie worden met elkaar in balans gebracht,
2. Productie van niet-bestuurbare en wel bestuurbare bronnen wordt gebalanceerd, en
3. Problemen in de lokale elektriciteitsbehoefte worden opgelost door apparaten aangesloten op het gasnetwerk te gebruiken

Doelstelling in I-Balance was om van 50 echte huishoudens consumptie- en productiepatronen (op basis van slimme metergegevens) realtime te kunnen verzamelen en gebruiken. De controleerbare elektriciteitsopwekker die in dit project is gekozen is de BlueGen van CFCL (Ceramic Fuel Cells Limited), een Solid Oxyde Fuel Cell (SOFC). I-Balance heeft uiteindelijk 9 brandstofcellen gebruikt in dit project.
https://www.hanze.nl/nld/onderzoek/speerpunten/energie/i-balance

FlexNH3 – Power-to-Ammonia: Rethinking the role of ammonia

In dit project is een haalbaarheid studie gedaan naar het 'power-to-ammonia' concept.
Beschikbare duurzame elektriciteit wordt gebruikt om via elektrolyse waterstof te genereren. Het waterstof vormt in reactie met stikstof ammoniak. Dit proces kan worden gebruikt als balancering voor het elektriciteitsnet. Ammoniak kan worden gebruikt om langdurig energie op te slaan met technologie die vandaag de dag te verkrijgen is.
https://research.hanze.nl/en/publications/power-to-ammonia-rethinking-the-role-of-ammonia-from-a-value-prod

FLEX-P2G

In het FLEX-P2G project wordt het fundament gelegd voor de inpassing van robuuste, flexibele en kosteneffectieve power-to-gas technologie in het energiesysteem. Het project richt zich op de ontwikkeling van drie pijlers:

1. Efficiënte & low cost waterstof productie.
2. Efficiënte methanisatie.
3. Kansrijke business modellen en scenario's voor inpassing in het energiesysteem.

De Hanzehogeschool heeft de randvoorwaarden voor commerciële toepassing van elektrolyse en synthetisch methaan onderzocht, zoals de voor methanisatie benodigde CO_2-bronnen, inpassing in het energiesysteem, marktkansen en businessmodellen.

Power to flex

Een Europees project met 18 projectpartners rondom kleinschalige waterstofopslag samen met onder anderen Holthausen, Cedel en de prov Drenthe. In het project Power to Flex id het idee een klein waterstoftankstation te bouwen dat lokale pieken en dalen in de energievraag opvangt. Power to Flex (2016 – 2020) draait daarmee om innovatieve pilots voor de opslag van duurzame energie dichtbij de bron, met verschillende energiedragers, voor huishoudens, bedrijven en huizenblokken en mobiliteit.
http://www.powertoflex.eu

Flexnode

Eindgebruikers, energiebedrijven en netbeheerders ondervinden allen de impact van de energietransitie, met name als gevolg van toename van capaciteit van wind- en zonne-energie. Dit leidt tot een vraag naar nieuwe flexibele en integrerende oplossingen die in kunnen spelen op de diverse klantbehoeften. Het verdienmodel van bestaande flex-technieken wordt sterk beperkt door korte opslagduur, kosten voor uitbreiding infrastructuur, lage energiedichtheid en korte bedrijfstijden in huidige markt. Een reversibele brandstofcel (kortweg RBC), dat van elektriciteit waterstof en warmte kan maken en van waterstof/aardgas weer elektriciteit en warmte heeft de potentie om deze tekortkomingen op te lossen. Energy Matters, Hanzehogeschool en partners ontwikkelen en beproeven op laboratoriumschaal een reversibele brandstofcel (RBC) die waterstof produceert in de elektrolyse-modus, dit buffert en later weer omzet in elektriciteit en warmte in de brandstofcelmodus. Er wordt getest met realistische gebruiksprofielen bij het Energy Transition Centre. In samenwerking met Alliander en met behulp van model-based forecasting worden business modellen ontwikkeld voor de inzet van RBC voor energieopslag en handelen met onbalans https://www.hanze.nl/nld/onderzoek/speerpunten/energie/flexnode

Store&Go: kort-cyclische opslag van energie in waterstof

27 Organisaties en bedrijven uit heel Europa werken samen in het Store & Go project om Power-to-Gas (PtG) technologie te integreren in het toekomstige Europese energiesysteem. Tests van Store&Go worden gehouden in Duitsland, Zwitserland en Italië om technische, economische, sociale en juridische belemmeringen te voorkomen. De tests zullen de weg vrijmaken voor een integratie van PtG opslag in een flexibele toeleverings- en distributieketen met een hoog aandeel van duurzame energie. Het project wordt gefinancierd door het 'Horizon 2020 - onderzoek en innovatie programma' van de EU. https://www.storeandgo.info/

Bio P2G

De inherente onzekerheid in de productie van wind- en zonne-energie kan leiden tot een gebrek aan evenwicht tussen vraag en aanbod van energie. Deze onbalans moet worden aangepakt. Power-to-Gas (P2G) met behulp van biologische methaanvorming (Bio-P2G) kan een waardevolle oplossing kan zijn als methode om meer en hogere kwaliteit methaan te maken als drager of opslag van duurzame energie. In P2G wordt elektriciteit gebruikt om waterstof uit water te genereren en de waterstof wordt omgezet in methaan met de conversie van het broeikasgas kooldioxide.
Dit project wordt gefinancierd vanuit het SIA RaakPRO programma en onderzoekt of Bio-P2G technologisch en economisch aantrekkelijk is als bijdrage aan het balanceren van de vraag en aanbod van duurzame energie in Nederland. Het project zal de technologische, economische en ecologische haalbaarheid van Bio - P2G evalueren en is gericht op het opbouwen van Nederlandse ervaring en expertise met deze technologie.
Het zal de mogelijkheden schetsen voor de uitvoering van Bio - P2G in de Nederlandse energiehuishouding. Verschillende technologische en economische set - ups voor Bio - P2G zullen worden onderzocht op effectiviteit en haalbaarheid. Er zal een kleine tot middelgrote pilot bij EnTranCe plaatvinden.

ESTRAC

ESTRAC is een wetenschappelijk open innovatie programma opgericht door verschillende kennisinstellingen (bij de start TNO, ECN, Rijksuniversiteit Groningen en Hanzehogeschool Groningen) met een mix van expertise uit verschillende vakgebieden en van academisch en toepassingsgericht onderzoek. Samen met bedrijven en maatschappelijke organisaties worden vraagstukken aangepakt die voor een individuele partij te groot of te duur zijn. De onderzoeken leveren uiteindelijk praktijkgerichte uitkomsten die zowel bedrijven als overheden zullen helpen bij het nemen van beslissingen over duurzame energieplannen. Energietransitie-vraagstukken worden op regionaal, nationaal én internationaal niveau in samenhang aangepakt. Eén van de concrete deelprojecten in 2018 richt

zich op verduurzaming van de Eemshavenregio. Hierbij worden energie modellen van alle betrokkenen ingezet om de Eemshaven te helpen verduurzamen. De Eemshaven is een energie intensieve omgeving, waar ook een groot chemiecluster onderdeel van uitmaakt. Gegeven het feit dat er al een gedeelde waterstofbackbone in ontwikkeling is, er grote productiecapaciteit voor waterstof is en aanlanding van duurzame elektriciteit in ontwikkeling is, zal waterstof een duidelijk stempel drukken op toekomstige ontwikkelingen van dit industrieel gebied.

Onderwijs

De verbinding met onderwijs is evident bij onderzoek op een HBO instelling. Waterstof als onderwerp vraagt om professionals die begrijpen hoe een duurzame energiesysteem in elkaar kan zitten.
In de afgelopen jaren zijn daartoe twee Internationale Master of Science (MsC) opleidingen ontwikkeld in samenwerking met de EUREC organisatie. Het betreft de EMRE Master (EUREC Master Renewable Energy) en de Sustainable Energy System Management Master (SESyM). Het zijn Master programma's waar studenten in een internationale setting in samenwerking met maatschappij en industrie worden opgeleid om een rol te vervullen in de energietransitie. In september 2017 zijn 55 studenten uit 25 landen gestart in beide Masters. In beide Masters ligt een duidelijke verbinding met het onderwerp waterstof door middel van de sustainable fuel specialisatie.

Op maatschappelijk gebied voert de Hanzehogeschool de Master International Communication, en vanaf september 2018 de Master Energy4Society. In beide Masters wordt nadrukkelijk aandacht gevraagd voor de draagvlak-vraagstukken rondom verduurzaming van energie.

Binnen 22 bachelor opleidingen werken we met energieroutes, waarbij energie binnen de context van het beroep wordt gezet. Veel van deze studenten lopen stage of studeren af bij het Centre of Expertise of haar partners.

Uitdagingen

Momenteel bestaan er (minimaal) vier grote uitdagingen die de ontwikkeling van een (groene) waterstofeconomie in de weg staan. In dit hoofdstuk wil ik kort stilstaan bij deze uitdagingen.

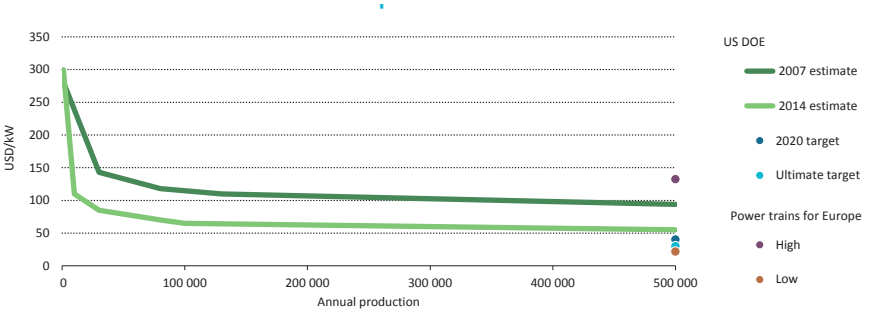
Kostprijs

Momenteel is de prijs voor waterstof nog niet per definitie vergelijkbaar met bijvoorbeeld aardgas. Dit geldt zowel aan de productiekant van waterstof als aan de conversiekant (brandstofcellen zijn veel duurder dan een CV ketel). De lage CO_2 prijs speelt daarbij natuurlijk parten. Een eerlijke vergelijking is daarmee moeilijk te maken.

Toch zijn we wellicht dichterbij dan we denken. Een korte rekensom:
De productiekosten, op basis van grootschalige fossiele productie van waterstof, liggen rond 1,0–1,5 €/kg H_2. Nemen we zuivering, compressie en transport mee, dan bedraagt de prijs van gecomprimeerd waterstof geleverd aan een tankstation op het ogenblik minimaal 5 €/kg. Verwachting is dat in het volgend decennium de kostprijs van lokaal (niet duurzaam) geproduceerde waterstof in dezelfde orde van grootte ligt. Ook elektrolyse op basis van duurzame stroom komt naar verwachting komend decennium uit op ongeveer dezelfde kostprijs. (Bron: status update TKI Gas maart 2016)

Als we de mobiliteitssector als voorbeeld nemen, dan ligt bij een benzineprijs van ca. 1,5 €/L (incl. accijns, excl. BTW) de vergelijkbare prijs voor waterstof op ca 10 €/kg. De marge komt daarmee op ongeveer 5€/kg H_2. Hiervan moeten dan operationele kosten en investeringen van worden betaald, maar ook eventuele belastingen. Verwachting is dat hier een haalbare businesscase gemaakt kan worden, maar dat we ook nog een aantal jaren geduld moeten hebben om de kostprijs laag genoeg te krijgen.

Kijkend naar brandstofcellen, geldt ook daar de ‘economy of scale’. In willekeurig welke sector leidt verhoging van productieaantallen tot forse kostprijs verlaging.



Sources: adapted from McKinsey and Co. (2011), *A Portfolio of Powertrains for Europe: a Fact-Based Analysis, The Role of Battery Electric Vehicles, Plug-in Hybrids and Fuel Cell Electric Vehicles*; US DOE (2012), *Fuel Cell Technologies Program Record*; US DOE (2014d), *DOE Fuel Cell Technologies Office Record – Fuel Cell System Costs*.

Fig 21: verwachtte kostprijsverlaging van brandstofcellen door productieverhoging, bron International Energy Agency

De verwachting is dat door de stijgende prijs van CO_2 en nog te ontwikkelen opties voor opslag van CO_2, blauwe of groene waterstof met de bijbehorende systemen in de komende 10 jaar concurrerend van prijs zullen gaan worden.

Hoe neem ik genoeg energie in de vorm van waterstof mee?

Gezien de relatief lage energie-inhoud per volume is kosteneffectieve opslag onder hoge druk met een beperkte fysieke omvang van groot belang, zeker in de mobiliteits-sector. Dat zijn veel ontwerp-parameters die tegelijkertijd geoptimaliseerd moeten worden, waarbij ook nog eens rekening gehouden moet worden met realistische vultijden. Hoe lang wil een automobilist wachten bij het tanken? Opslag van waterstof is een enorm wetenschapsgebied op zichzelf, dat zich niet eenvoudig laat samenvatten. Dat ga ik dan ook niet proberen. Er is de afgelopen jaren veel progressie geboekt, ook met betrekking tot andere manieren van opslag (metaalverbindingen, in carbonstructuren of zelfs in biologische materialen). Toch zijn veel targets met betrekking tot kostprijsreductie voor een typische tank voor 5kg H_2 in de afgelopen jaren niet gehaald.

De jaarlijkse rapportage van het US departement of energy (https://www.hydrogen.energy.gov/annual—progress16.html) laat echter wel zien dat door nieuwe wikkeltechnieken van 700 bar tanks bij grotere productieaantallen de prijs tussen 2013-2016 met 12% is gedaald. Naar verwachting is dit een gebied waar nog veel technologische barrières geslecht moeten worden.

Imago en draagvlak

De eerste reactie die mensen in mijn eigen ervaring hebben op het begrip waterstof is niet per definitie positief. De eerste associaties zijn vaak met de ramp met de zeppelin Hindenburg in 1937. Een haast iconisch ongeluk, dat waarschijnlijk door beperkt mediabereik in die tijd, in ons collectief beeldgeheugen is gegrift.

Fig 22: brand van de Hindenburg in mei 1937, bron: wikimedia commons, nationaal fotoarchief

Hoewel er meer dan 60 overlevenden waren tegen 36 slachtoffers, heeft het een blijvende impact met betrekking tot het imago van Waterstof (en de zeppelin natuurlijk).

Een ander weinig positief beeld dat naar voren komt bij veel mensen is de waterstofbom. Een buitengewoon krachtig en wellicht onmenselijk wapen. Maar je moet aardig wat moeite doen wil je de energie van waterstof op deze wijze explosief opwekken. Toch spelen ook nu dit soort beelden op bij discussie over bijvoorbeeld een waterstoftrein. In november 2017 werd deze vergelijking in een ingezonden brief in de Leeuwarder courant gehanteerd door de voorzitter van een werkgroep Spoor. In mijn ogen het spoor bijster. (https://www.dekrantvantoen.nl/article-history.do?id=LC-20171101-ZU01020007)

Ook maakt onbekend onbemind. Wie heeft een buurman met een waterstofauto Wanneer heeft u voor het laatst een snufje waterstof geroken? Onderzoek naar draagvlak en imago in samenwerking met het lectoraat Sustainable Communication & Behaviour lijkt zeer zinvol. Daarnaast is het van belang om zichtbare experimenten en pilots de maatschappij in te brengen. De QBUZZ bussen op waterstof in de normale dienstregeling zouden wel eens belangrijker kunnen zijn voor draagvlak dan we nu denken.

Zorgen met betrekking tot veiligheid

Hoewel waterstof al jaren in grote hoeveelheden veilig wordt ingezet in de chemische- en procesindustrie, roept het feit dat er nog beperkt realistische veiligheidsrichtlijnen voor regulier gebruik zijn vragen op. Ook een hogedruktank met brandbaar waterstof in een auto roept vragen op bij potentiele gebruikers. Hoewel proeven uitwijzen dat het niet per definitie gevaarlijker is (zie bv https://www.youtube.com/watch?v=IknzEAs34r0) Ook dit is een uitgebreid (en secuur) vakgebied dat zich niet makkelijk verstandig laat samenvatten. Veiligheid staat voorop, dus laten we het ook niet onderschatten.
Toch wil ik er kort een aantal dingen over zeggen.

Allereerst zou het verstandig zijn als (bestaande) zeer conservatieve industriële richtlijnen worden vertaald naar een realistische setting binnen de gebouwde omgeving. Ook zou het goed zijn om de jarenlange ervaring van veilig werken met waterstof in de procesindustrie te delen met andere sectoren. Een van de belangrijke onderwerpen in het HYDROGREENN netwerk. Ik wil een quote aanhalen uit het zeer leesbare en toegankelijke TKI rapport van DNV GL: Verkenning waterstofinfrastructuur (dec 2017).

"Externe veiligheid. De externe veiligheid verandert niet significant met inzet van waterstof. De energieinhoud (het stralingsvermogen) neemt af en de ontstekingskans neemt toe. Echter, in de regelgeving valt waterstof in een andere categorie dan aardgas. De regelgeving voor waterstof transportleidingen bevat significant meer conservatisme dan voor aardgas (hogere faalfrequentie). Op grond van de huidige regelgeving zou invoering van waterstof op grote problemen kunnen stuiten, terwijl kennis van faalgedrag en gevolgen aangeven dat de praktijk weleens veel minder ernstig of zelfs gunstiger zou kunnen uitvallen"

Toch zou ik er op willen wijzen dat Johan Cruijff ook hier gelijk had: 'Elk nadeel hep z'n voordeel'. Het nadeel van de lage energie-inhoud per volume bewijst hier zijn voordeel.

Nu volgt een korte technische verhandeling (vrij naar DNV GL), ik blijf toch een materiaalkundige. Bij dezelfde druk is de energie inhoud per pijpleidingdeel in het geval van waterstof slechts een derde ten opzichte van aardgas. Door de fysieke eigenschappen (de geluidssnelheid in waterstof is ca 3 keer hoger dan in aardgas), stroomt bij een breuk waterstof 3 keer sneller uit dan in vergelijking met aardgas. Bij het begin van de breuk zal er dus netto evenveel energie uitstromen. Maar door de hoge snelheid van uitstroom en de lage energie-inhoud zal het effect veel sneller afnemen dan bij een aardgas incident.

Eén van de conclusies van het DNV GL rapport is overigens dat het gasnet goede mogelijkheden biedt voor transport van 100% waterstof en ook voor aardgas-waterstofmengsels.

Nawoord

Zoals in het begin van dit boekje opgemerkt, de energie-transitie zal een systeemverandering moeten zijn. Een verandering die technologie, mens en maatschappij raakt. Het gezamenlijk ontwikkelen van een waterstof economie is een fantastische kans om met waterstof als metafoor onze maatschappij te veranderen in een duurzame maatschappij. Daarover ben ik optimistisch.

Wereldwijd zakken de prijzen van duurzaam geproduceerde elektriciteit. Met de ambitie van Japan om over 10 jaar meer dan 5 miljoen huishoudens van brandstofcellen te hebben voorzien zal de technologie betrouwbaarder en goedkoper worden. Door de omslag in de auto-industrie naar elektrisch vervoer, is een groot deel van de benodigde mobiliteit technologie onder handbereik.

In het noorden van Nederland staan we er goed voor. Aanlanding van groene stroom, ruimte, toegang tot de gasinfrastructuur en de chemische industrie als launching customer. Als we hier niet gezamenlijk een start kunnen maken, waar dan wel?

Ik kijk er naar uit om samen met partners uit het HYDROGREENN netwerk, studenten, overheden en collega's een (bescheiden) stap te zetten naar deze noordelijke groene waterstof economie.

Zo gezegd, zo gedaan!

Referenties en verantwoording

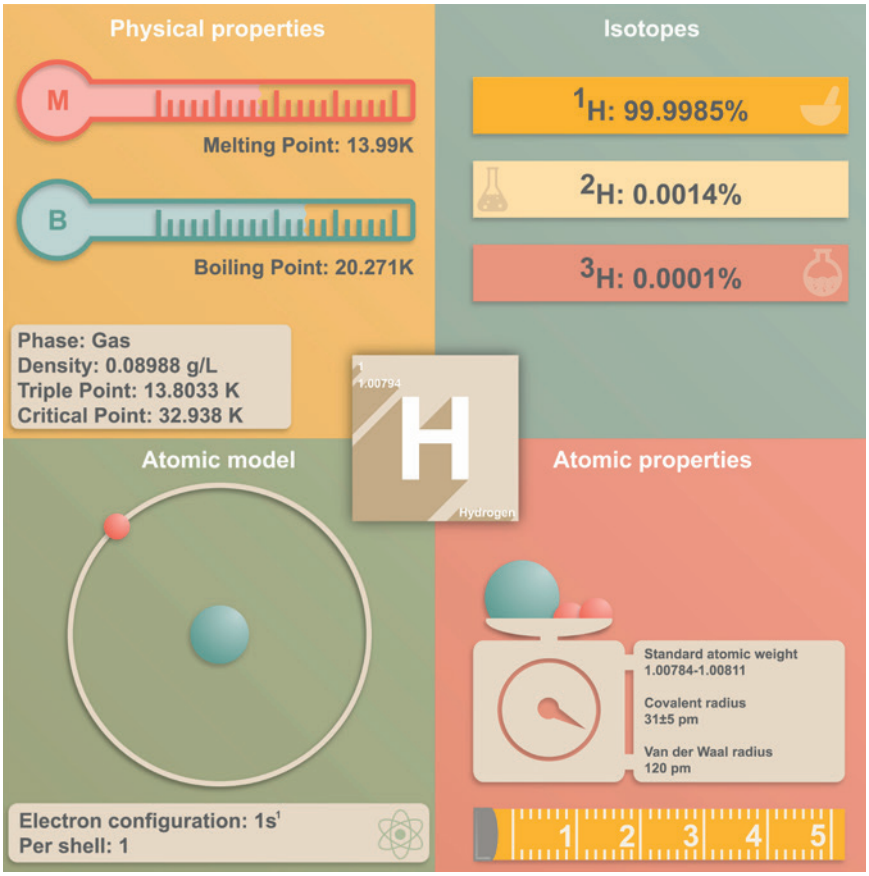
Algemene referenties

Topsector Energie https://topsectorenergie.nl/tki-nieuw-gas
National Renewable Energy Laboratory (USA) https://www.nrel.gov/hydrogen/
Nationaal Waterstof Platform https://opwegmetwaterstof.nl/
Noordelijke innovatie Board http://verslag.noordelijkeinnovationboard.nl/
Us Department of Energy https://energy.gov/eere/fuelcells/fuel-cell-technologies-office
Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel—cell
Netbeheer Nederland toekomstvisie https://www.netbeheernederland.nl/dossiers/energietransitie-26/documenten

Verantwoording figuren

Voorzijde	https://nl.depositphotos.com/search/hydrogen-green.html?qview=68536105
Fig 1	http://verslag.noordelijkeinnovationboard.nl/green-hydrogen-h2
Fig 2	https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AF%C3%A9lix—Nadar—1820-1910—portraits—Jules—Verne.jpg
Fig 3	www.gartner.com
Fig 4	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Periodic—Table—Development.svg
Fig 5	http://beeldbankgroningen.nl/
Fig 6	https://energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-pathways
Fig 7	https://energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-electrolysis
Fig 8	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rivez—Engine.jpg
Fig 9	eigen foto
Fig 10	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fuel—cell—NASA—p48600ac.jpg
Fig 11	foto Hanzehogeschool Groningen
Fig 12	presentatie Gasunie Energystock Robbert van der Pluijm
Fig 13	https://www.automationworld.com
Fig 14	https://geoneer.files.wordpress.com/2015/04/pga—contouren.png
Fig 15	http://www.deltawerken.com/modules/mediagallery/popup.php?id=1499&style—root=/home/deltawerken.com/public—html/styles/blauw&style—root—http=http://www.deltawerken.com/styles/blauw&language=nl
Fig 16	http://verslag.noordelijkeinnovationboard.nl/overzichtskaart-noord-nederland
Fig 17	www.gasunie.nl, www.tennet.nl

Fig 18	eigen productie
Fig 19	eigen productie
Fig 20	IKA RWTH Aachen, https://www.ika.rwth-aachen.de/r2h/index.php/Emerging—Hydrogen—and—Fuel—Cell—Products.html
Fig 21	Technology Roadmap Hydrogen and Fuel Cells van de International Energy Agency
Fig 22	https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hindenburg—disaster.jpg
Achterzijde	https://nl.depositphotos.com/search/hydrogenstack.html?qview=96371914



Jan-jaap Aué

Jan-jaap Aué (1967) heeft Technische Natuurkunde gestudeerd en is als materiaalkundig op een praktijkgericht vraagstuk gepromoveerd aan de Rijksuniversiteit Groningen (1997). Door zijn interesse in het oplossen van praktijkvraagstukken, waarbij kennis aan het werk wordt gezet, heeft hij van 1997-2002 gewerkt bij KPN Research en van 2003-2009 bij TNO. Hier kreeg hij interesse in het managen en naar de markt brengen van innovaties.

In 2009 stapte Jan-jaap over naar de Hanzehogeschool Groningen als Dean van het Instituut voor Life Sciences &Technology en later als Dean van het Instituut voor Engineering. Integratie van onderwijs en onderzoek en het ontwikkelen van praktijkgericht Masteronderwijs heeft daarbij steeds zijn belangstelling gehad. Vanaf 2010 werkte hij aan het ontwikkelen van een research en innovatie centrum op het gebied van duurzame energie. In 2015 is hij benoemd als directeur van EnTranCe, het Centre of Expertise Energy, waarin volgens de ‘Quadruple Helix’ wordt gewerkt, waar bedrijfsleven, overheid, kennisinstellingen en samenleving gezamenlijk werken aan oplossingen voor de energietransitie.

EnTranCe
ENERGY TRANSITION CENTRE

New Energy Coalition

Energy

HANZE-18_0234